

Produktivitas Kapal Pukat Cincin.....yang Berubah di Selat Bali (Purwanto)

PRODUKTIVITAS KAPAL PUKAT CINCIN PADA PERIKANAN LEMURU YANG BEROPERASI PADA KONDISI IKLIM YANG BERUBAH DI SELAT BALI

THE PRODUCTIVITY OF PURSE SEINERS IN LEMURU FISHERY OPERATING UNDER A CLIMATE VARIABILITY IN THE BALI STRAIT

Purwanto

Pusat Penelitian Pengelolaan Perikanan dan Konservasi Sumberdaya Ikan
 Teregistrasi I tanggal: 22 Mei 2012; Diterima setelah perbaikan tanggal: 6 September 2012;
 Disetujui terbit tanggal: 7 September 2012
 E-mail: purwanto.pp@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu permasalahan yang dihadapi nelayan di Selat Bali terkait dengan dampak variabilitas iklim adalah penurunan drastis hasil tangkapan pukat cincin pada saat La Niña yang menyebabkan kerugian ekonomi. Untuk memprediksi dampak tersebut, telah dilakukan analisis mengenai hubungan antara variabilitas iklim dengan produktivitas kapal pukat cincin di Selat Bali. Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa produktivitas kapal dipengaruhi oleh variabilitas iklim dan upaya penangkapan. Pengaruh variabilitas iklim terhadap produktivitas kapal ditunjukkan secara sangat nyata oleh *southern oscillation index* (SOI). Produktivitas kapal dengan variabilitas musim tahun sebelumnya maupun *Dipole Mode Index* tidak menunjukkan hubungan yang nyata. Hubungan yang sangat nyata terjadi antara produktivitas kapal dengan rata-rata SOI enam-bulan pertama pada tahun yang sama. Oleh karena itu, nilai rata-rata SOI enam-bulan pertama dapat digunakan untuk memprediksi produktivitas tahunan kapal.

KATA KUNCI: Produktivitas kapal, perikanan lemuru, variabilitas iklim, Selat Bali.

ABSTRACT

One problem faced by fishers in Bali strait relating to the impact of climate variability was the drastic decline in purse siners' catch during La Niña episode that caused economic losses. To predict the impacts, this study analysed the relationship between the climate variability and the productivity of purse seine vessels operated in the Bali strait. The result of statistical analysis shows that the vessel productivity was affected by climatic variability and fishing effort. The impact of climate variability on the vessel productivity was high-significantly indicated by the Southern Oscillation Index (SOI). Meanwhile, the relationship between the vessel productivity and climatic variability of the previous year nor the Dipole Mode Index was not significant. Furthermore, there was a highly significant relationship between the vessel productivity and the average SOI in the first six-month of the same year. Therefore, the average SOI in the first six-month of the year could be used to predict the annual vessel productivity.

KEYWORDS: Vessel productivity, lemuru fishery, climatic variability, Bali strait.

PENDAHULUAN

Ikan lemuru (*Sardinella lemuru* Bleeker, 1853) merupakan sumberdaya ikan pelagis kecil utama di perairan Selat Bali (Dwiponggo, 1987; Merta *et al.*, 2000). Penyebaran sumberdaya ikan tersebut terutama terkonsentrasi di perairan Selat Bali dan sekitarnya. Penyebaran di luar Selat Bali yang sudah diketahui adalah ke arah barat hingga Prigi dan ke arah timur hingga Selat Alas (Merta & Nurhakim, 2004). Sumberdaya ikan tersebut sudah lama dimanfaatkan oleh nelayan dengan menggunakan berbagai jenis alat tangkap tradisional (Soemarto, 1959). Namun, perkembangan pesat perikanan lemuru terjadi setelah diperkenalkan pukat cincin pada awal 1970-an dan adanya permintaan akan ikan lemuru

yang relatif tinggi untuk mencukupi kebutuhan bahan baku pengolahan (Dwiponggo, 1987; Merta *et al.*, 2000). Pada saat ini pukat cincin telah menjadi alat tangkap utama untuk memanfaatkan sumberdaya ikan tersebut. Alat tangkap tersebut umumnya dioperasikan oleh nelayan di Selat Bali menggunakan perahu bermotor tempel dengan lama operasi penangkapan setiap trip satu malam.

Kontribusi armada perikanan pukat cincin terhadap produksi perikanan laut adalah sekitar 93% dari berat hasil tangkapan keseluruhan dari Selat Bali (Merta *et al.*, 2000). Hasil tangkapan armada perikanan pukat cincin didominasi oleh lemuru dengan proporsi antara 80% dan 98% dari berat hasil tangkapan keseluruhan (Budihardjo *et al.*, 1990; Wudianto, 2001a), kecuali

Korespondensi penulis:

Pusat Penelitian Pengelolaan Perikanan dan Konservasi Sumberdaya Ikan
 Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, Jakarta Utara

pada periode La Niña, proporsi ikan lemuru hasil tangkapan menurun sangat rendah. Jenis ikan lainnya yang tertangkap oleh pukat cincin adalah layang (*Decapterus* spp), kembung (*Rastrelliger* spp), tongkol (*Auxis* spp, *Euthynus* spp), dan slengseng (*Scomber* spp). Hasil tangkapan, terutama lemuru, sebagian besar digunakan sebagai bahan baku industri pengolahan yang berada pada kawasan pantai Selat Bali, khususnya di Muncar dan Pengambangan.

Pada awal perkembangan perikanan di Selat Bali, peningkatan armada penangkapan telah meningkatkan hasil tangkapan. Volume ikan hasil tangkapan yang melimpah telah mendorong perusahaan pengolahan untuk meningkatkan kapasitas pengolahannya. Selanjutnya, peningkatan permintaan akan ikan untuk kebutuhan bahan baku industri pengolahan telah mendorong nelayan untuk meningkatkan kapasitas penangkapan ikan agar dapat meningkatkan produksinya. Peningkatan kapasitas penangkapan dilakukan dengan menambah jumlah kapal dan meningkatkan daya tangkap melalui penggunaan kapal berukuran lebih besar dan jaring yang lebih luas (Wudianto, 2001a) serta penggunaan alat bantu penangkapan, khususnya lampu dengan intensitas cahaya yang semakin tinggi. Konsekuensinya, kemampuan penangkapan dari armada perikanan, yang diukur dengan upaya penangkapan (OECD, 2007; McCluskey & Lewison, 2008), cenderung terus berkembang (Merta *et al.*, 2000; Purwanto, 2008 & 2011). Dampak dari hal tersebut adalah kecenderungan penurunan kelimpahan sumberdaya ikan dan produktivitas kapal penangkapnya (Merta *et al.*, 2000; Purwanto, 2008 & 2011).

Secara alami, produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali cenderung berfluktuasi dengan pola yang tidak selalu konsisten dengan pola fluktuasi upaya penangkapan. Merta & Nurhakim (2004) menjelaskan adanya pola fluktuasi musiman pada produktivitas kapal. Musim penangkapan ikan lemuru, yaitu saat hasil tangkapan melimpah, umumnya berlangsung September – Desember. Pada bulan-bulan lainnya ikan tersebut kadang tertangkap namun dalam jumlah sedikit sehingga bukan-musim penangkapan ikan lemuru (Merta & Nurhakim, 2004). Sementara itu, Purwanto (2008, 2011) menunjukkan fluktuasi produktivitas kapal perikanan lemuru yang disebabkan oleh fenomena perubahan iklim. Menggunakan *southern oscillation index* (SOI) sebagai indikator dari perubahan iklim (BOMA, 2005), Purwanto (2008, 2011) menunjukkan hubungan antara peningkatan SOI dengan peningkatan produktivitas kapal di Selat Bali pada kurun waktu tahun yang sama, namun tidak mengkaji dampak lanjutan terhadap produktivitas kapal

pada kurun waktu tahun berikutnya dan tidak mengevaluasi indikator lainnya yang memungkinkan digunakan untuk mengukur fenomena perubahan iklim, yaitu *Dipole Mode Index* (DMI) (JAMSTEC, 2011).

Salah satu permasalahan yang dihadapi nelayan terkait dengan dampak variabilitas iklim adalah penurunan drastis hasil tangkapan pada saat periode La Niña yang menyebabkan usaha penangkapan merugi, sebagaimana berlangsung sejak pertengahan 2010 hingga menjelang akhir 2011. Nelayan dapat terbantu dalam menghindari kerugian ekonomi akibat variabilitas iklim bila dapat dilakukan prediksi sebelum terjadi penurunan drastis hasil tangkapan. Kerugian ekonomi tersebut memungkinkan dihindari bila periode La Niña dapat diprediksi dengan tepat sebelumnya. Namun, prediksi terhadap variabilitas iklim ekstrim sejauh ini masih sulit dilakukan. Terkait dengan hal tersebut model prediktif produktivitas kapal perikanan sangat diperlukan untuk melakukan prakiraan dampak negatif variabilitas iklim terhadap produktivitas kapal.

Tulisan ini menyajikan alternatif model dan hasil analisis mengenai hubungan antara variabilitas iklim, menggunakan indikator SOI dan DMI, dengan produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali pada kurun waktu tahun yang sama dan kurun waktu tahun berikutnya. Model yang paling sesuai, yang menghubungkan antara variabilitas iklim dan intensitas penangkapan dengan produktivitas kapal, diharapkan dapat digunakan untuk menjelaskan fluktuasi produksi kaitannya dengan variabilitas iklim. Pada tulisan ini juga dilakukan analisis untuk menyusun model prediktif produktivitas kapal yang diharapkan dapat digunakan untuk memperkirakan produktivitas kapal setahun berdasarkan variabilitas iklim pada kurun waktu tertentu pada tahun yang sama atau tahun sebelumnya.

BAHAN DAN METODE

Terdapat dugaan, yang akan diuji dengan analisis statistika dalam tulisan ini, bahwa variasi produktivitas kapal penangkap ikan (U) berhubungan dengan variasi intensitas penangkapan, yang diukur dengan upaya penangkapan (E), dan variabilitas iklim pada kurun waktu (tahun) yang sama dan kurun waktu (tahun) sebelumnya. Dalam analisis, produktivitas kapal penangkap ikan diukur dengan hasil tangkapan per unit upaya penangkapan (Cadima, 2003; McCluskey & Lewison, 2008). Nilai SOI dan DMI digunakan dalam analisis sebagai indikator dari variabilitas iklim. Model yang digunakan dalam analisis statistik merupakan modifikasi terhadap model dari Schaefer (1954, 1957) dan Fox (1970, 1975) dengan memasukkan indikator

variabilitas iklim dan disajikan sebagai persamaan (1) dan (2) berikut ini:

$$U_t = a_0 + a_1 E_t + a_2 S_t + a_3 S_{t-1} + a_4 D_t + a_5 D_{t-1} \quad (1)$$

$$\ln U_t = a_0 + a_1 E_t + a_2 S_t + a_3 S_{t-1} + a_4 D_t + a_5 D_{t-1} \quad (2)$$

Keterangan:

U_t = C_t/E_t = produktivitas kapal, atau hasil tangkapan per unit upaya penangkapan (catch per unit effort – CPUE), tahun t ;

C_t = hasil tangkapan armada perikanan lemuru tahun t ;

E_t = upaya penangkapan tahun t ;

S_t = SOI tahun t ;

S_{t-1} = SOI tahun $t-1$;

D_t = DMI tahun t ;

D_{t-1} = DMI tahun $t-1$;

a_0, a_1, \dots, a_5 = koefisien;

t = 1990, 1991, ..., 2004.

Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengevaluasi alternatif model prediktif produktivitas kapal dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$U_t = b_0 + b_1 E_t + b_2 S_{t-i,k} \quad (3)$$

$$\ln U_t = b_0 + b_1 E_t + b_2 S_{t-i,k} \quad (4)$$

$$U_t = b_0 + b_1 E_t + b_2 S_{t-i,j} \quad (5)$$

$$\ln U_t = b_0 + b_1 E_t + b_2 S_{t-i,j} \quad (6)$$

Keterangan:

$S_{t-i,k}$ = SOI tahun $t-i$ triwulan k ; $i = 0$ dan 1 ; $k = 1, \dots, 4$.

$S_{t-i,j}$ = SOI tahun $t-i$ semester j ; $i = 0$ dan 1 ; $j = 1$ dan 2 .

b_0, b_1, b_2 = koefisien.

t = 1990, 1991, ..., 2004.

Variabel $S_{t-i,k}$ yang dianalisis adalah $S_{t,1}$, $S_{t,2}$, $S_{t,3}$, $S_{t,4}$ dan $S_{t-1,4}$. Sementara itu, variabel $S_{t-i,j}$ yang dianalisis adalah $S_{t,1}$, $S_{t,2}$ dan $S_{t-1,2}$.

Analisis untuk memilih persamaan produktivitas kapal yang paling sesuai, diantara persamaan yang dikaji, dan variabel yang berpengaruh nyata serta mengestimasi nilai koefisiensinya dilakukan dengan *ordinary least square*. Data yang digunakan dalam analisis terdiri dari berat ikan hasil tangkapan dan upaya penangkapan kapal perikanan lemuru yang beroperasi di Selat Bali pada kurun waktu tahun 1990 – 2004, hasil tangkapan per unit kapal per trip pada

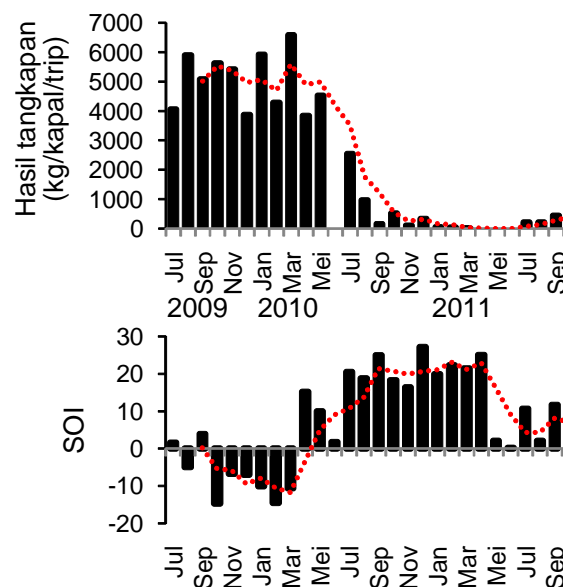
Juli 2009 – Oktober 2011, rata-rata SOI dan DMI tahun 1989 - 2004 serta SOI bulanan pada Juli 2009 – Oktober 2011. Data berat ikan hasil tangkapan dan upaya penangkapan tersebut bersumber dari Purwanto (2008). Data SOI bersumber dari *Bureau of Meteorology Australia* (2011), sedangkan DMI bersumber dari *Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology* (2011).

HASIL DAN BAHASAN

HASIL

Hubungan Antara Produktivitas Kapal dengan Variabilitas Iklim dan Intensitas Penangkapan

Pada periode Juli 2009 – Oktober 2011, volume ikan lemuru hasil tangkapan per trip dari Selat Bali cenderung berfluktuasi (Gambar 1). Kondisi iklim pada periode tersebut, dengan menggunakan SOI sebagai indikator, juga cenderung berfluktuasi. Pada tahun 2010, SOI cenderung meningkat hingga mencapai sekitar 20, yang mengindikasikan kondisi La Niña, sementara itu volume hasil tangkapan cenderung menurun drastis hingga tingkat minimum. Episode La Niña berlangsung hingga menjelang akhir 2011, dan hasil tangkapan pada tingkat minimum juga berlanjut hingga menjelang akhir tahun 2011.



Gambar 1. Fluktuasi hasil tangkapan lemuru per trip kapal penangkap dari Selat Bali, dan southern oscillation index (SOI), Juli 2009 – Oktober 2011.

Figure 1. Fluctuation of lemuru catch per trip landed by fishing vessel from Bali Strait, and southern oscillation index (SOI), July 2009 – October 2011.

Hasil analisis statistik mengenai hubungan antara produktivitas kapal (CPUE) dengan upaya penangkapan ikan dan fenomena perubahan iklim pada perikanan lemuru di Selat Bali disajikan dalam bentuk persamaan (1.1 - 1.4) dan (2.1 - 2.4) pada Tabel 1. Sementara itu, hasil analisis statistik hubungan antara CPUE dengan upaya penangkapan ikan tanpa mempertimbangkan fenomena perubahan iklim disajikan dalam bentuk persamaan (1.5) dan (2.5). Diantara sepuluh persamaan tersebut, terdapat dua persamaan yang dapat menjelaskan hubungan antara CPUE dengan upaya penangkapan dan variabilitas iklim, yaitu persamaan (1.4) dan (2.4). Berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) dari persamaan tersebut, persamaan (2.4) adalah yang lebih sesuai untuk menjelaskan variasi CPUE. Nilai R^2 dari persamaan (2.4) menunjukkan bahwa 88.4% dari variasi CPUE dapat dijelaskan dengan variasi dari E dan SOI. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa CPUE sangat nyata dipengaruhi oleh upaya penangkapan. Sementara itu, pengaruh variabilitas iklim terhadap CPUE ditunjukkan secara sangat nyata oleh SOI. Secara statistik, variasi CPUE tidak berhubungan nyata dengan variasi DMI. Hasil analisis statistik juga menunjukkan bahwa CPUE tidak dipengaruhi secara nyata oleh variabilitas musim tahun sebelumnya. Sementara itu, pengaruh upaya penangkapan ikan terhadap CPUE secara statistik tidak nyata bila tidak mempertimbangkan fenomena perubahan iklim (persamaan (1.5) dan (2.5)).

Berdasarkan persamaan (2.4), CPUE meningkat bila E menurun dan/atau SOI menurun. Sebaliknya CPUE menurun bila E meningkat dan/atau SOI meningkat. Pada saat SOI tetap, CPUE menurun bila E meningkat. Pada saat SOI = 0, peningkatan E dari 100 kapal menjadi 139 kapal menyebabkan penurunan CPUE dari 510 ton menjadi 384 ton/kapal/tahun (Gambar 2A). Walaupun E tetap, CPUE akan menurun bila SOI meningkat. Pada saat E setara dengan 100 kapal, peningkatan SOI dari 0 menjadi 10 diikuti dengan penurunan CPUE dari 510 ton menjadi 282 ton/kapal/tahun (Gambar 2A). Sebaliknya, penurunan SOI dari 0 menjadi -10 diikuti dengan peningkatan CPUE dari 510 ton menjadi 921 ton/kapal/tahun bila E tetap 100 kapal. CPUE menurun lebih rendah bila saat peningkatan E berbarengan dengan peningkatan SOI. Bila peningkatan E dari 100 kapal menjadi 139 kapal berbarengan dengan peningkatan SOI dari 0 menjadi 10, maka CPUE menurun dari 510 ton menjadi 213 ton/kapal/tahun.

Pada saat terjadi El Niño dengan rata-rata SOI = -10, produktivitas kapalnya mencapai 694 ton/kapal/tahun bila jumlah kapal yang beroperasi adalah 139 unit. Kondisi sebaliknya pada saat terjadi La Niña, dengan rata-rata SOI = 10 produktivitas kapalnya mencapai 213 ton/kapal/tahun bila jumlah kapal yang beroperasi tetap 139 unit (Gambar 2B). Sementara itu, pada saat SOI = 0, produktivitas kapalnya mencapai 384 ton/kapal/tahun bila jumlah kapal 139 unit.

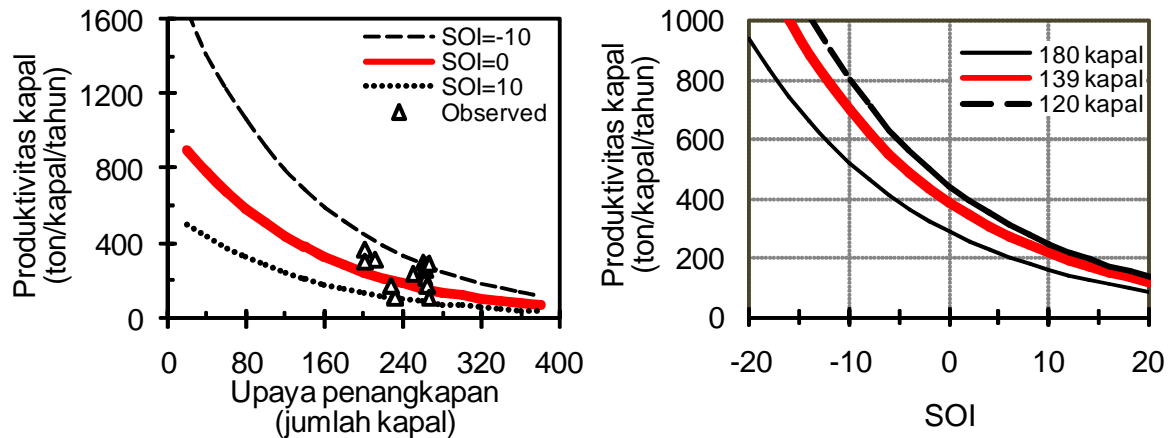
Tabel 1. Persamaan, hasil analisis, yang menggambarkan hubungan antara CPUE dengan upaya penangkapan dan fenomena perubahan iklim pada perikanan lemuru di Selat Bali.

Table 1. Equations, resulting from analyses, representing the relationship between CPUE and fishing effort and climate change phenomenon in the lemuru fishery in the Bali Strait.

Model dasar	No	Persamaan hasil analisis							Adjusted R ²						
Schaefer (1954, 1957)	1.1	U _t	=	609.4249 (6.044)***	-	1.6907 E _t (4.032)***	-	11.5417 S _t (6.216)***	-	0.6770 S _{t-1} (0.391) ^{ns}	-	2.0727 D _t (0.160) ^{ns}	+ 2.1476 D _{t-1} (0.166) ^{ns}	0.8244	
	1.2	U _t	=	611.9446 (6.833)***	-	1.6990 E _t (4.574)***	-	11.9476 S _t (7.853)***	-	5.1264 D _t (0.475) ^{ns}				0.8509	
	1.3	U _t	=	610.0907 (7.030)***	-	1.6927 E _t (4.715)***	-	11.2789 S _t (8.271)***	-	0.9359 S _{t-1} (0.745) ^{ns}				0.8552	
	1.4	U _t	=	602.8932 (7.124)***	-	1.6577 E _t (4.746)***	-	11.5869 S _t (9.087)***							0.8606
	1.5	U _t	=	435.2022 (1.954) ^{ns}	-	0.8133 E _t (0.387) ^{ns}									0.0581
Fox (1970, 1975)	2.1	ln U _t	=	6.9285 (15.566)***	-	7.097x10 ⁻³ E _t (3.834)***	-	5.963x10 ⁻² S _t (7.273)***	-	1.146x10 ⁻³ S _{t-1} (0.150) ^{ns}	-	4.897x10 ⁻³ D _t (0.086) ^{ns}	+ 3.741x10 ⁻² D _{t-1} (0.654) ^{ns}	0.8607	
	2.2	ln U _t	=	6.9967 (17.317)***	-	7.377x10 ⁻³ E _t (4.403)***	-	6.090x10 ⁻² S _t (8.872)***	-	2.549x10 ⁻² D _t (0.524) ^{ns}				0.8765	
	2.3	ln U _t	=	6.9849 (17.820)***	-	7.334x10 ⁻³ E _t (4.523)***	-	5.768x10 ⁻² S _t (9.366)***	-	4.323x10 ⁻³ S _{t-1} (0.762) ^{ns}				0.8797	
	2.4	ln U _t	=	6.9517 (18.167)***	-	7.172x10⁻³ E_t (4.542)***	-	5.911x10⁻² S_t (10.252)***							0.8840
	2.5	ln U _t	=	6.0909 (5.431)***	-	2.842x10 ⁻³ E _t (0.622) ^{ns}									0.0289

Keterangan:

- Angka dalam kurung adalah nilai t-statistik dari pengaruh variabel independen terhadap CPUE;
- *** menunjukkan bahwa nilai t-statistik signifikan pada $P < 0.01$;
- ns menunjukkan bahwa pengaruh variabel yang bersangkutan secara statistik tidak signifikan.



Gambar 2. (A) Hubungan antara produktivitas kapal dengan upaya penangkapan pada perikanan lemuru Selat Bali pada saat SOI adalah -10, 0 dan 10, serta (B) Produktivitas kapal perikanan lemuru in Selat Bali pada berbagai kondisi iklim, sebagaimana diindikasikan oleh nilai SOI, bila jumlah kapal adalah 120, 139 dan 180 unit.

Figure 2. (A) The relationship between vessel productivity and fishing effort in the Bali strait lemuru fishery when SOI were -10, 0 and 10, and (B) productivity of lemuru fishing vessel in the Bali strait at various climatic conditions, as indicated by SOI, when the number of vessels were 120, 139 and 180 units.

Model Prediktif Produktivitas Kapal

Hasil analisis statistik untuk merumuskan model prediktif produktivitas kapal dengan peubah bebas (*independent variable*) variabilitas iklim dan upaya penangkapan ikan pada perikanan lemuru di Selat Bali disajikan pada Tabel 2 dan 3. Pada Tabel 2 disajikan persamaan hasil analisis model prediktif untuk memperkirakan produktivitas kapal berdasarkan rata-rata SOI triwulanan. Sementara itu, Tabel 3 menyajikan hasil analisis model prediktif untuk memperkirakan produktivitas kapal berdasarkan rata-rata SOI semesteran.

Hasil analisis sebagaimana disajikan dalam bentuk persamaan (3.1), (3.3) – (3.5) dan persamaan (4.1), (4.3) – (4.5) pada Tabel 2 menunjukkan bahwa produktivitas kapal secara statistik berhubungan nyata dengan rata-rata SOI triwulanan, namun tidak berhubungan nyata dengan upaya penangkapan. Hal tersebut tidak konsisten dengan hasil analisis statistik yang disajikan dalam bentuk persamaan (1.4) dan (2.4) pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali sangat nyata dipengaruhi oleh variabilitas iklim dan

upaya penangkapan. Oleh karena itu, nilai rata-rata SOI triwulanan tidak dapat digunakan untuk memprediksi produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali.

Hasil analisis statistik sebagaimana disajikan dalam bentuk persamaan (5.1) dan (6.1) pada Tabel 2 menunjukkan bahwa produktivitas kapal berhubungan sangat nyata dengan rata-rata SOI semester-1 dan upaya penangkapan pada tahun yang sama. Hal tersebut konsisten dengan hasil analisis statistik yang disajikan dalam bentuk persamaan (1.4) dan (2.4) pada Tabel 1. Selain itu Nilai R^2 dari persamaan (5.1) dan (6.1) sedikit lebih rendah dibandingkan Nilai R^2 dari persamaan (1.4) dan (2.4). Oleh karena itu, nilai rata-rata SOI semester-1 dapat digunakan untuk memprediksi produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali. Nilai koefisien determinasi persamaan (6.1) lebih tinggi dibandingkan persamaan (5.1), sehingga persamaan (6.1) lebih sesuai untuk digunakan sebagai model prediksi produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali. Nilai R^2 dari persamaan (6.1) menunjukkan bahwa 80.9% dari variasi CPUE dapat dijelaskan dengan variasi dari SOI semester-1 dan E.

Tabel 2. Persamaan, hasil analisis, model prediktif untuk memperkirakan produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali berdasarkan rata-rata SOI triwulanan.

Table 2. Equations, resulting from analyses, of predictive model to forecast productivity of lemuru fishing vessel operated in the Bali Strait based on the average of three-monthly SOI.

Model dasar	No	Persamaan hasil analisis	R ²
Schaefer (1954, 1957)	3.1	$U_t = 558.0080 - 1.3620 E_t - 4.9246 S_{t,1}$ (2.8849)* (1.7166) ^{ns} (2.5394)*	0.3869
	3.2	$U_t = 455.3037 - 0.9595 E_t - 2.3348 S_{t,2}$ (2.0072) ^{ns} (1.0251) ^{ns} (0.8463) ^{ns}	0.1106
	3.3	$U_t = 452.0148 - 0.9580 E_t - 5.7420 S_{t,3}$ (2.3845)* (1.2369) ^{ns} (2.4526)*	0.3722
	3.4	$U_t = 555.1934 - 1.3587 E_t - 6.9021 S_{t,4}$ (3.5878)*** (2.1442) ^{ns} (4.0077)***	0.5970
	3.5	$U_t = 588.9077 - 1.4765 E_t - 5.7423 S_{t,1,4}$ (3.0339)*** (1.8559) ^{ns} (2.6258)*	0.4014
Fox (1970, 1975)	4.1	$\ln U_t = 6.7394 - 0.005739 E_t - 0.025811 S_{t,1}$ (7.0934)*** (1.4725) ^{ns} (2.709622)*	0.3975
	4.2	$\ln U_t = 6.1734 - 0.003431 E_t - 0.009158 S_{t,2}$ (5.3491)*** (0.7204) ^{ns} (0.652378)ns	0.0621
	4.3	$\ln U_t = 6.1809 - 0.003596 E_t - 0.029135 S_{t,3}$ (6.5120)*** (0.9273) ^{ns} (2.485365)*	0.3589
	4.4	$\ln U_t = 6.6991 - 0.005605 E_t - 0.034716 S_{t,4}$ (8.6078)*** (1.7588) ^{ns} (4.008050)***	0.5848
	4.5	$\ln U_t = 6.8589 - 0.006155 E_t - 0.028519 S_{t,1,4}$ (6.9758)*** (1.5275) ^{ns} (2.574593)*	0.3744

Keterangan:

- Angka dalam kurung adalah nilai t-statistik dari pengaruh variabel independen terhadap CPUE;
- *** menunjukkan bahwa nilai t-statistik signifikan pada P<0.01;
- * menunjukkan bahwa nilai t-statistik signifikan pada P<0.05;
- ns menunjukkan bahwa pengaruh variabel yang bersangkutan secara statistik tidak signifikan.

Tabel 3. Persamaan, hasil analisis, model prediktif untuk memperkirakan produktivitas kapal pada perikanan lemuru di Selat Bali berdasarkan rata-rata SOI enam-bulanan.

Table 3. Equations, resulting from analyses, of predictive model to forecast productivity of lemuru fishing vessel operated in the Bali Strait based on the average of six-month SOI.

Model dasar	No	Persamaan hasil analisis	R ²
Schaefer (1954, 1957)	5.1	$U_t = 613.1642 - 1.7021 E_t - 9.5971 S_{t,1}$ (5.3014)*** (3.5571)*** (6.2803)***	0.7801
	5.2	$U_t = 506.2807 - 1.1778 E_t - 6.9803 S_{t,2}$ (3.0369)*** (1.7253) ^{ns} (3.4114)***	0.5215
	5.3	$U_t = 523.7651 - 1.2211 E_t - 5.4089 S_{t,1,2}$ (2.6162)* (1.4880) ^{ns} (2.1967)*	0.3278
Fox (1970, 1975)	6.1	$\ln U_t = 7.0118 - 0.007438 E_t - 0.04941 S_{t,1}$ (13.1267)*** (3.3657)*** (7.0006)***	0.8090
	6.2	$\ln U_t = 6.4543 - 0.004702 E_t - 0.03523 S_{t,2}$ (7.7250)*** (1.3742) ^{ns} (3.4359)***	0.5105
	6.3	$\ln U_t = 6.5448 - 0.004931 E_t - 0.02744 S_{t,1,2}$ (6.5227)*** (1.1988) ^{ns} (2.2233)*	0.3122

Keterangan terhadap angka dalam kurung, serta simbol *, *** dan ns sama dengan yang tercantum pada Tabel 2.

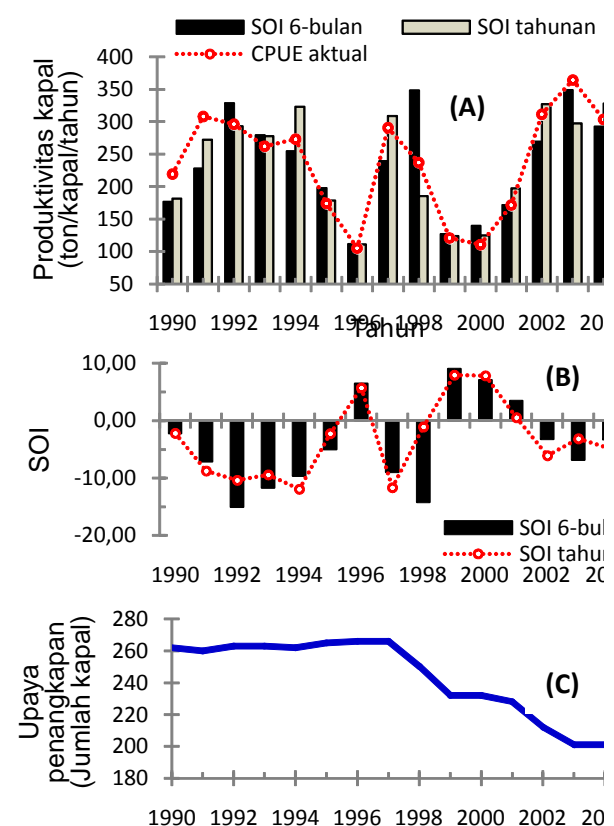
Hasil estimasi produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali tahun 1990-2004 berdasarkan upaya penangkapan dan rata-rata SOI semester-1, menggunakan model prediktif (persamaan (6.1)), dan rata-rata SOI tahunan, menggunakan persamaan (2.4), disajikan pada Gambar 3. Hasil analisis statistik pada Tabel 1 dan 3 serta angka produktivitas aktual dan hasil estimasinya pada Gambar 3 menunjukkan bahwa secara statistik estimasi menggunakan angka SOI tahunan menghasilkan angka estimasi yang lebih baik dibandingkan estimasi menggunakan angka SOI 6-bulan pada semester-1. Namun demikian, secara umum estimasi menggunakan angka SOI 6-bulan pada semester-1 menghasilkan hasil estimasi yang relatif tetap konsisten dengan data. Hasil analisis berdasarkan rata-rata SOI tahunan maupun rata-rata SOI semester-1 menunjukkan bahwa produktivitas kapal menurun dengan meningkatnya SOI sehingga pada periode La Niña produktivitas kapal perikanan rendah. Fluktuasi produktivitas kapal perikanan lemuru hasil estimasi dengan menggunakan SOI semester-1 mirip dengan hasil estimasi dengan menggunakan SOI tahunan (Gambar 3).

Hasil estimasi produktivitas kapal menggunakan persamaan (2.4) menunjukkan bahwa fluktuasi produktivitas kapal perikanan lemuru pada periode 1990 – 1997 berhubungan dengan fluktuasi SOI karena jumlah kapal relatif tetap, yaitu sekitar 263 unit (Gambar 3). Penurunan tajam pada produktivitas kapal penangkap ikan dari 323 ton menjadi 111 ton/kapal/tahun pada periode 1994 – 1996 berhubungan dengan peningkatan tajam pada SOI dari -11.93 menjadi 5.69. Sebaliknya, peningkatan tajam pada produktivitas kapal penangkap ikan dari 111 ton menjadi 309 ton/kapal/tahun pada periode tahun 1996 – 1997 berhubungan dengan penurunan tajam pada SOI dari 5.69 menjadi -11.67. Sementara itu, fluktuasi produktivitas kapal perikanan lemuru pada periode tahun 1997 – 2004 berhubungan dengan fluktuasi SOI dan penurunan jumlah kapal.

Terdapat fluktuasi SOI yang sedikit berbeda antara rata-rata SOI tahunan dengan rata-rata SOI semester-1, khususnya pada tahun 1992, 1998 dan 2003. Namun demikian, penyimpangan menyolok produktivitas kapal hasil estimasi dari data (angka aktual) produktivitas kapal hanya untuk tahun 1998.

Secara umum fluktuasi produktivitas kapal dapat diprediksi dengan menggunakan model prediktif (persamaan (6.1)). Jumlah kapal relatif tetap pada periode 1990-1997. Penurunan tajam pada

produktivitas kapal penangkap ikan pada 1994-1996 yang berhubungan dengan peningkatan tajam pada SOI dapat diprediksi dengan model prediktif tersebut. Sebaliknya, peningkatan tajam pada produktivitas kapal penangkap ikan pada periode 1996 – 1997 yang berhubungan dengan penurunan tajam pada SOI juga dapat diprediksi dengan model prediktif tersebut. Jumlah kapal kemudian menurun pada 1997-2004. Fluktuasi produktivitas kapal perikanan lemuru pada periode 2000 – 2004 yang berhubungan dengan fluktuasi SOI dan penurunan jumlah kapal dapat diprediksi dengan model prediktif tersebut.



Gambar 3. (A) Produktivitas kapal hasil pengamatan dan hasil estimasi menggunakan rata-rata *southern oscillation index* (SOI) semester-1 (SOI 6-bulan) tahun yang sama dan SOI tahunan serta upaya penangkapan, (B) fluktuasi SOI serta (C) fluktuasi upaya penangkapan pada perikanan lemuru di Selat Bali, 1990 – 2004.

Figure 3. (A) Productivity of vessels observed and that estimated on the basis of the first six-month SOI at the same year and the annual SOI, and fishing effort, (B) the fluctuation of SOI, and (C) the fluctuation of fishing

Model dari Fox (1970, 1975) yang dimodifikasi dan disajikan pada tulisan ini (persamaan-2.4) menunjukkan bahwa produktivitas kapal penangkap ikan lemuru di Selat Bali meningkat saat periode El Niño dan menurun saat periode La Niña. Hasil analisis tersebut konsisten dengan hasil pengamatan Merta & Nurhakim (2004) dan hasil analisis Purwanto (2008, 2011) menggunakan model dari Schaefer (1954, 1957) yang dimodifikasi. Produktivitas kapal penangkap ikan lemuru di perairan Selat Bali setidaknya dipengaruhi oleh dua hal, yaitu kelimpahan stok atau biomasa ikan dan posisi kedalaman stok ikan di perairan tersebut. Kelimpahan stok ikan dipengaruhi oleh laju pertumbuhan stok ikan tersebut. Purwanto (2008, 2011) menunjukkan bahwa perubahan iklim mempengaruhi laju pertumbuhan alami stok ikan lemuru di Selat Bali. Laju pertumbuhan tertinggi dari stok ikan terjadi saat El Niño, sedangkan terendah terjadi saat La Niña. Konsekuensinya, hasil tangkapan yang diperoleh kapal perikanan saat El Niño lebih tinggi dibandingkan saat La Niña. Sementara itu, posisi kedalaman stok ikan dipengaruhi oleh kedalaman termoklin. Hal terakhir ini juga dipengaruhi oleh perubahan iklim.

Laju pertumbuhan stok ikan lemuru di Selat Bali dipengaruhi oleh ketersediaan makanan alaminya, yaitu zooplankton dan fitoplankton (Soerjodinoto, 1962; Ritterbush, 1975; Burhanuddin & Praseno, 1982; Wudianto, 2001a; Pradini, *et al.*, 2001). Kelimpahan fitoplankton, yang juga merupakan makanan alami zooplankton, meningkat oleh peningkatan kesuburan perairan karena terjadinya upwelling di selatan Jawa - Sumatera pada musim tenggara (Susanto, *et al.*, 2001b). Wudianto (2001a) mengamati terjadinya peningkatan kelimpahan phytoplankton, sebagaimana diindikasikan oleh peningkatan konsentrasi klorofil-a (Susanto & Marra, 2005), sebagai dampak pengkayaan unsur hara pada lapisan permukaan perairan Selat Bali saat upwelling. Peningkatan ketersediaan makanan alami ikan lemuru sebagai dampak dari upwelling tersebut menyebabkan peningkatan pertumbuhan individu dan laju pertumbuhan stok ikan lemuru di perairan tersebut, yang pada giliran berikutnya menyebabkan peningkatan kelimpahan stok ikan lemuru di Selat Bali. Variabilitas upwelling selain karena pengaruh angin musim juga dipengaruhi oleh *El Niño Southern Oscillation* (ENSO) (Susanto, *et al.*, 2001b).

Proses terjadinya upwelling di selatan Jawa-Sumatera dimulai dengan berhembusnya angin tenggara dari Australia yang umumnya berlangsung mulai Mei atau awal Juni hingga Oktober (Susanto, *et al.*, 2001b). Angin tenggara tersebut menimbulkan upwelling di perairan pantai tersebut, yang dimulai di

selatan Jawa Timur (mencakup pula Selat Bali), suhu permukaan laut menjadi lebih dingin dibanding suhu rata-rata dan termoklin menjadi lebih dangkal (Susanto, *et al.*, 2001a,b). Upwelling kemudian bergeser ke arah barat dan mencapai puncaknya pada Juli-Agustus dengan pusatnya di 105° BT. Pusat upwelling terus bergeser ke arah barat laut mencapai 100° BT dan 2° LS di barat Sumatera pada Oktober yang merupakan akhir musim tenggara, dan selanjutnya secara bertahap beralih ke musim barat, ketika angin dari arah barat-laut mulai berhembus dan upwelling melemah (Susanto, *et al.*, 2001a). Pada musim barat, kondisi perairan adalah sebaliknya, upwelling berakhir dan termoklin menjadi lebih dalam (Susanto, *et al.*, 2001a).

Pada periode El Niño, *upwelling* yang terjadi di selatan Jawa - Sumatera berlangsung dengan waktu lebih lama dan pada kawasan yang lebih luas (Susanto, *et al.*, 2001a,b). Hal tersebut menyebabkan perairan subur dan kelimpahan plankton lebih tinggi, sehingga konsentrasi klorofil-a yang lebih tinggi (Susanto & Marra, 2005). Oleh karena itu, laju pertumbuhan alami stok dan biomassa ikan lemuru di Selat Bali pada periode El Niño meningkat lebih tinggi dibanding kondisi normal (Purwanto, 2008; 2011). Sementara itu, termoklin naik 20-60m lebih dangkal pada saat El Niño (Susanto, *et al.*, 2001a,b), sehingga stok ikan lemuru di Selat Bali berada pada kedalaman perairan yang lebih dangkal (Wudianto, 2001a; Anonymous, 2011) dan bisa dijangkau oleh jaring nelayan yang beroperasi pada perairan tersebut. Konsekuensi dari laju pertumbuhan alami stok ikan dan biomassa ikan yang meningkat lebih tinggi serta posisi/kedalaman stok ikan yang lebih bisa dijangkau oleh jaring nelayan pada saat El Niño adalah hasil tangkapan yang lebih tinggi dibanding kondisi normal (Purwanto, 2008 & 2011).

Kondisi sebaliknya terjadi pada saat La Niña, *upwelling* melemah dibanding kondisi normal (Susanto, *et al.*, 2001a,b), sehingga kesuburan perairan berkurang dan kelimpahan plankton jauh lebih rendah. Hal tersebut menyebabkan rendahnya laju pertumbuhan alami stok dan biomassa ikan (Purwanto, 2008; 2011). Selain itu, termoklin menjadi lebih dalam (20–30m) dibanding kondisi normal (Susanto, *et al.*, 2001a,b), sehingga stok ikan lemuru di Selat Bali berada pada lapisan perairan yang lebih dalam (Wudianto, 2001a; Anonymous, 2011) dan lebih sulit dijangkau oleh jaring nelayan yang beroperasi pada perairan tersebut. Laju pertumbuhan alami stok ikan dan biomassa ikan yang lebih rendah serta posisi/kedalaman stok ikan yang lebih sulit dijangkau oleh jaring nelayan menyebabkan hasil tangkapan yang lebih rendah dibanding kondisi normal (Purwanto, 2008; 2011).

Laju pertumbuhan stok ikan lemuru di Selat Bali juga dipengaruhi oleh penambahan anakan (*recruitment*) ikan hasil pemijahan. Musim pemijahan stok ikan lemuru di Selat Bali adalah sekitar bulan Juni – Juli (Dwiponggo, 1972; Ritterbush, 1975; Burhanuddin *et al.*, 1984), yaitu pada waktu yang hampir bersamaan dengan terjadinya *upwelling* di Selatan Jawa Timur. Hal ini sesuai dengan penjelasan Miller & Kendall (2009) bahwa musim pemijahan ikan memiliki karakteristik ekologis tertentu dan bertepatan dengan ketersediaan pakan alami optimal untuk *larvae*. Puncak musim pemijahan diduga pada Juli (Merta, 1992), sehingga anakan ikan lemuru (istilah lokal: *sempenit*) banyak tertangkap pada Agustus-September (Wudianto, 2001b).

Walaupun peningkatan ketersediaan makanan alami ikan lemuru sebagai dampak dari *upwelling* berhubungan positif dengan pertumbuhan individu dan laju pertumbuhan stok ikan, yang pada gilirannya berpengaruh positif terhadap kelimpahan stoknya, terdapat jeda waktu antara peningkatan kelimpahan fitoplankton dengan kelimpahan stok ikan dan produksi perikanan lemuru di Selat Bali. Hal ini karena diperlukan waktu untuk proses pengubahan energi dari klorofil-a (fitoplankton) ke zooplankton dan seterusnya hingga ikan lemuru (Sartimboel *et al.*, 2010). Sartimboel *et al.* (2010) memperkirakan waktu transfer energi dari fitoplankton hingga ikan lemuru adalah sekitar tiga bulan. Peningkatan laju pertumbuhan alami stok ikan dan biomassa ikan serta posisi/kedalaman stok ikan yang lebih bisa dijangkau oleh jaring nelayan pada musim tenggara menyebabkan hasil tangkapan lebih tinggi dibanding musim yang lainnya. Oleh karena itu, musim penangkapan ikan lemuru umumnya berlangsung pada September–Desember (Merta & Nurhakim, 2004).

Berdasarkan rata-rata data bulanan produksi ikan lemuru di Selat Bali, sekitar 70% dari total produksi setahun dihasilkan pada musim penangkapan, yang berlangsung pada enam-bulan kedua (semester-2). Pengaruh kondisi ekologis, khususnya *upwelling* dan perubahan iklim, saat musim tenggara (semester-1) terhadap stok dan produksi ikan lemuru pada musim penangkapan yang berlangsung pada semester-2 dijelaskan pada bagian sebelumnya pada tulisan ini. Sementara itu, hubungan antara produktivitas kapal penangkap ikan lemuru setahun dengan kondisi ekologis tersebut pada enam-bulan pertama setiap tahun direpresentasikan secara signifikan dengan model surplus produksi dari Fox (1970, 1975) yang dimodifikasi, dengan menambahkan variabel bebas angka rata-rata SOI semester-1 (Januari-Juni) dari setiap tahun kalender, dan disajikan pada tulisan ini (persamaan-6.1). Model tersebut sekaligus dapat

dimanfaatkan sebagai model prediktif produktivitas kapal setahun (Januari-Desember).

Model prediktif tersebut menunjukkan bahwa kondisi ekologis, sebagai dampak dari kondisi iklim pada semester-1 yang diindikasikan oleh SOI, berpengaruh terhadap produktivitas kapal penangkap ikan lemuru yang beroperasi di Selat Bali, dengan musim penangkapan ikan lemuru pada semester-2. Angka prediksi produktivitas kapal perikanan lemuru yang beroperasi di Selat Bali, yang dihitung menggunakan model prediktif tersebut, dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam memutuskan pelaksanaan kegiatan usaha penangkapan ikan lemuru pada semester-2, yang umumnya merupakan musim penangkapan. Hal tersebut dapat membantu nelayan dalam menghindari kemungkinan kerugian ekonomi sebagai dampak negatif variabilitas iklim berupa penurunan drastis hasil tangkapan.

KESIMPULAN

1. Produktivitas kapal sangat nyata dipengaruhi oleh upaya penangkapan dan variabilitas iklim. Pengaruh variabilitas iklim terhadap produktivitas kapal ditunjukkan secara sangat nyata oleh SOI. Variasi dari E dan SOI memberikan penjelasan terhadap 88.4% dari variasi produktivitas kapal. Produktivitas kapal tidak dipengaruhi secara nyata oleh variabilitas musim tahun sebelumnya. Tidak terdapat hubungan nyata antara variasi produktivitas kapal dengan variasi DMI.
2. Produktivitas kapal meningkat bila E menurun dan/atau SOI menurun, atau sebaliknya produktivitas kapal menurun bila E meningkat dan/atau SOI meningkat. Pada saat SOI tetap, produktivitas kapal menurun bila E meningkat. Walaupun E tetap, produktivitas kapal juga menurun bila SOI meningkat. Produktivitas kapal menurun lebih rendah bila saat peningkatan E berbarengan dengan peningkatan SOI.
3. Produktivitas kapal berhubungan sangat nyata dengan rata-rata SOI semester-1 dan upaya penangkapan pada tahun yang sama. Oleh karena itu, nilai rata-rata SOI semester-1 dapat digunakan untuk memprediksi produktivitas kapal perikanan lemuru di Selat Bali.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymous. 2011. *Annual technical report of the Indonesia-Norway cooperation in the capacity development of marine fisheries research*. FCRMC. (unpublished).

- Budihardjo, S., E. M. Amin, & Rusmadji. 1990. Estimasi pertumbuhan dan tingkat kematian ikan lemuru (*Sardinella longiceps*) di Selat Bali. *J. Pen. Perik. Laut.* 56: 79-90.
- Bureau of Meteorology Australia (BOMA), 2005. *El Niño, La Niña and Australia's Climate*. Commonwealth of Australia. 6 p.
- Bureau of Meteorology Australia, 2011. SOI (Southern Oscillation Index) Archives - 1876 to present. *Bureau of Meteorology, Commonwealth of Australia*. <http://www.bom.gov.au/climate/current/soihtm1.shtml>
- Burhanuddin & D.P. Praseno. 1982. Lingkungan perairan Selat Bali. *Prosiding Sem. Perikanan Lemuru*, Banyuwangi 18-21 Januari 1982. Pros. No. 2/SPL/82: p. 27-32.
- Burhanuddin, M. Hutomo, S. Martosewoyo, & R. Moeljanto. 1984. *Sumber daya ikan lemuru*. LON-LIPI, Jakarta. 70 p.
- Cadima, E.L. 2003. Fish stock assessment manual. *FAO Fisheries Technical Paper* 393. Rome, FAO. 161 p.
- Dwiponggo, A. 1972. *Perikanan dan penelitian pendahuluan kecepatan pertumbuhan lemuru (S. longiceps) di Muncar, Selat Bali*. LPPL 1/72-PL. 021/72: p. 117-144.
- Dwiponggo, A. 1987. Indonesian marine fisheries resources, p. 10 - 63. In C. Bailey, et al. (eds.) *Indonesian marine capture fisheries. ICLARM Studies and Review* 10. 196 p. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines; Directorate General of Fisheries, and Marine Fisheries Research Institute, Ministry of Agriculture, Jakarta, Indonesia.
- Fox, W.W. 1970. An exponential surplus yield model for optimizing exploited fish populations. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 1970 (1): 80-88.
- Fox, W.W. 1975. Fitting the generalized stock production model by least-squares and equilibrium approximation. *Fishery Bulletin* 73 (1): 23-37.
- Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC). 2011. Dipole Mode Index (DMI). [http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/HTML/Dipole Mode Index.html](http://www.jamstec.go.jp/frcgc/research/d1/iod/HTML/Dipole%20Mode%20Index.html)
- McCluskey, S.M. & R.L. Lewison. 2008. Quantifying fishing effort: a synthesis of current methods and their applications. *Fish and Fisheries* 9: 188-200.
- Merta, I. G. S. 1992. Dinamika populasi ikan lemuru, *Sardinella lemuru* Bleeker 1853 (Pisces:Clupeidae) di perairan Selat Bali dan alternatif pengelolaannya. *Desertasi*. Fakultas Pascasarjana, IPB, Bogor. 201 p.
- Merta, I.G.S. & S. Nurhakim. 2004. musim penangkapan ikan lemuru, *Sardinella lemuru*, Bleeker 1853 di perairan Selat Bali. *J. Lit. Perikan. Ind.*, 10 (6): p. 75-83.
- Merta, I.G.S., K. Widana, Yunizal & R. Basuki. 2000. Status of the lemuru fishery in Bali strait: Its development and prospects. *Papers presented at the workshop on the fishery and the management of Bali sardinella (Sardinella lemuru) in Bali strait*, Denpasar, Bali, Indonesia, 6 – 8 April 1999. FAO, Rome.
- Miller, B.S. & A.W. Kendall. 2009. *Early life history of marine fishes*. University of California Press, Berkeley. 376 p.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 2007. Glossary of statistical terms. *OECD*. 863p.
- Pradini, S., M.E. Rahardjo, & R. Kaswadji. 2001. Kebiasaan makanan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) di perairan Muncar, Banyuwangi. *Jurnal Iktiologi Indonesia*, 1(1): 41-45.
- Purwanto. 2008. Resource rent generated in the Bali strait sardine fishery in a fluctuating environment. Final Draft. *Prepared for the World Bank PROFISH Program*. Washington. D.C. 33 p.
- Purwanto. 2011. Bio-economic optimal levels of the Bali strait sardine fishery operating in a fluctuating environment. *Ind. Fish. Res. J.*, 17 (1): 1-12.
- Ritterbush, S. W. 1975. *The assessment of the population biology of the Bali strait lemuru fishery*. LPPL 1/75-PL. 051/75. 37 p.
- Sartimbul, A., H. Nakata, E. Rohadi, B. Yusuf, & H.P. Kadarisman. 2010. Variations in chlorophyll-a concentration and the impact on *Sardinella lemuru* catches in Bali Strait, Indonesia. *Progress in Oceanography* 87: 168-174.

- Schaefer, M.B. 1954. Some aspects of the dynamics of populations important to the management of commercial marine fisheries. *Bulletin of the Inter American Tropical Tuna Commission* 1: 25-56.
- Schaefer, M.B. 1957. Some considerations of population dynamics and economics in relation to the management of marine fisheries. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 14: 669–81.
- Soemarto. 1959. Craft and gear utilised in the sardine fishery at Muncar, Indonesia, p. 1247-1264. In H. Rosa and G.I. Murphy (eds.), *Proceeding of the World Scientific Meeting on the Biology of Sardines and related species*. Rome, 14-21 Sept. 1959. Vol. III. FAO, Rome.
- Soerjodinoto, R. 1960. Synopsis of biological data on lemuru, *Clupea (Harengula) longiceps* (C.V.). *FAO Fish. Biol. Synop.*, 15: 313-328.
- Susanto, R.D. & J. Marra. 2005. Effect of the 1997/1998 El Nino on chlorophyll a variability along the southern coasts of Java and Sumatra. *Oceanography* 18(4): 124–127.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, & Q. Zheng. 2001a. Upwelling along the coasts of Java and Sumatra and its relation to ENSO. *Geophysical Research Letters*, 28:1559–1602.
- Susanto, R.D., A.L. Gordon, & Q. Zheng. 2001b. Upwelling within the Indonesian Seas and its relation to Monsoon and ENSO. The Fifth IOC/ WESTPAC *International Scientific Symposium*, Seoul, Republic of Korea, August 27–31, 2001. 9p.
- Wudianto, 2001a. Analisis sebaran dan kelimpahan ikan lemuru (*Sardinella lemuru* Bleeker, 1853) di perairan Selat Bali: kaitannya dengan optimasi penangkapan. *Disertasi Doktor*. Program Pascasarjana, I.P.B., Bogor.
- Wudianto, 2001b. Karakteristik gerombolan ikan lemuru (*Sardinella lemuru* Bleeker, 1853) di perairan Selat Bali. *Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 7 (3): 70-77.